

Würzburg, 1962

Lane Arch

Aus der Neurologischen Universitätsklinik Würzburg

Vorstand Prof. Dr. med. Georges Schaltenbrand

THESIS

LANE LIBRARY, STANFORD UNIVERSITY

Beitrag zur
Koordination der Stamm-Muskulatur

INAUGURAL-DISSERTATION

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

ELMAR HERTERICH

aus

Bodum

Würzburg 1962

Aus der Neurologischen Universitätsklinik Würzburg

Vorstand Prof. Dr. med. Georges Schaltenbrand

Beitrag zur
Koordination der Stamm-Muskulatur

INAUGURAL-DISSERTATION

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

ELMAR HERTERICH

aus

Bochum

Referent: Privatdozent Dr. med. Hans-Joachim Hufschmidt
Korreferent: Professor Dr. Georges Schaltenbrand

Tag der Promotion: 20. 2. 62

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

*Meiner lieben Mutter
in Dankbarkeit
gewidmet!*

LANE LIBRARY. STANFORD UNIVERSITY

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Problemstellung	5
II. Die kurze Willkür-Aktion	5
III. Methodik	7
VI. Eigene Ergebnisse	7
1. Willkürstoß des Trapezius	7
2. Spannungsreflex des Trapezius	9
3. Spannungsreflexe an anderen Muskeln des Schultergürtels	10
4. Zur intersegmentalen Koordination	11
a) Die Willkürkontraktion der Schultermuskeln und die Mit-Innervation der Rumpfmuskeln	12
b) Spannungsreflexe der Schultermuskulatur und ihr Einfluß auf die Rückenmuskulatur	13
V. Diskussion	16
VI. Zusammenfassung	17
Literatur	18

I. Problemstellung

Der geordnete Bewegungsablauf der Willkür-Motorik beruht auf einer ausgewogenen Koordination, die das Zusammenspiel der beteiligten Muskeln aufeinander abstimmt. Die zentrale Programmierung der Bewegungsimpulse ist dabei sicher nur ein Teil der notwendigen Steuerungen, der durch die Afferenzen der peripheren Kontrollorgane ergänzt wird. Die propriozeptive Regelung der Motorik, die von den Muskelspindeln und Sehnenkörpern ausgeht, ist hierfür von besonderer Bedeutung. In der vorliegenden Arbeit stellen wir uns die Frage, inwieweit diese Regelungen in den Bewegungsablauf innerhalb der Rumpfmuskulatur eingreifen können. Gerade bei der Statik wirken eine Vielzahl von Muskeln zusammen, ähnlich wie bei den Willkürbewegungen. Es ist dies nur möglich, wenn eine sinnvolle Verrechnung der propriozeptiven Meldungen und der zentralen Programmierung stattfindet, um Bewegung und Statik zu regeln und zu kontrollieren.

Es wurde versucht, zu zeigen, wieweit diese Regelungsvorgänge selbständig befähigt sind, neben höhere Zentren zu treten und auch stellvertretend für deren koordinierende Programmierung einspringen können.

Wir gingen von der Methodik aus, die von Hufschmidt beim lebenden und gesunden Menschen entwickelt wurde. Sie hat den Vorteil, ohne unphysiologische Eingriffe und unter Verzicht auf Narkotisierung Bilder von den natürlichen Erregungsabläufen zu gewinnen. Durch die Untersuchung bei direkter Muskelreizung kommen vor allem die Einflüsse der Golgi'schen Spannungs-Rezeptoren zur Darstellung.

II. Die kurze Willkür-Aktion

Bei einer kurzen ruckartigen Willkür-Bewegung zeigt die myographische Ableitung aus dem aktivierten Muskel einen gesetzmäßigen Erregungsablauf, dessen hervorstechendes Merkmal die autogene Hemmung ist.

Auf den initialen Innervationsstoß der muskulären Effektoren folgt schon beim Beginn des mechanischen Ausschlages einer Innervations-Stille, ähnlich der „silent period“ nach monosynaptischem Reflex. Sie wurde zusammen mit der Anfangs-Aktivität als „Innervations-Einheit des Willkürstoßes“ bezeichnet (Hufschmidt, 1959).

Die Dauer der Innervations-Stille ist von anlagebedingten Faktoren abhängig und zeigt individuelle Abweichungen. Zeiteintritt und Dauer richten sich auch nach Intensität und Ausmaß der Willkürbewegung. Bei kurzem, gleichgerichteten Bewegungs-Stoß bleibt sie weitgehend konstant.

Voraussetzung für das Auftreten der autogenen Hemmung ist eine bestimmte Spannungszunahme im Muskel. Wenn der untersuchte Muskel bereits vor der Aktion auch im Myogramm eine sichtbare Grundaktivität zeigt, dann läßt sich die autogene Hemmung um so deutlicher darstellen. Fast regelmäßig kommt es auch zu einem Rückschlag, dem „rebound“ Sherrington's, (1906), der sich unmittelbar als erneute Steigerung der Entladung anschließt.

Häufig folgt noch eine zweite, wenn auch kürzere Hemmungs-Phase. Wir können das als eine gedämpfte Schwingung auffassen. Das Phänomen der „silent period“ nach der Muskel-Innervation wurde in der Literatur ausführlich behandelt (Granit, 1950, 1951; Hufschmidt, 1953) und es wurde versucht, seine

Entstehung zu analysieren. Als maßgebliche Faktoren wurden dabei diskutiert:

1. die Entlastung der Muskelspindeln,
2. die rekurrente Hemmung durch Renshaw-Interneuronen,
3. die Subnormal-Phase der Motoneurone und
4. die autogene Hemmung.

Nach neueren Arbeiten (Hufschmidt, 1959, 1960) darf als sicher gelten, daß es sich um eine autogene Hemmung handelt, die propriozeptiv von den Golgi-Sehnenspindeln über die Ib-Afferenzen und über zentrale Schaltneurone zu den motorischen Vorderhornzellen gelangt. Die Golgi-Körper sind reine Spannungs-Rezeptoren. Sie haben eine etwas höhere Schwelle, als die Muskelspindeln und sprechen auf die Spannungsänderung des Muskels an. Die Frequenz der afferenten Impulse aus den Golgi-Organen nimmt bei der Kontraktion sowie auch bei jeder passiven, durch Dehnung hervorgerufenen Spannungserhöhung im Muskel zu.

Dagegen tritt aber bei der Kontraktion und Verkürzung des Muskels ein völliges Sistieren der Muskelspindel-Impulse auf (Matthews, 1933).

Da auch bei passiver Muskelverkürzung die Muskelspindeln ausfallen, dennoch aber keine Hemmungsphase erfolgt, ist der Ausfall der Spindelimpulse für das Zustandekommen der Hemmung nicht unbedingt notwendig (Hufschmidt, 1960).

Andererseits wurde gezeigt, daß die autogene Hemmung beim Ausfall der Golgi-Afferenzen auch völlig verschwand. So wird bei der Frazier-Spiller-Operation durch die Durchtrennung der portio major des Trigeminus nur die Afferenz der Golgi-Fasern unterbrochen, weil die Muskelspindel-Fasern beim Trigeminus in der motorisch-efferenten portio minor verlaufen. Durch diese Operation kommt es zum völligen Ausfall der autogenen Hemmung (Struppler, 1960; Hufschmidt und Spuler, 1961). Ebenso kam es bei Patienten, die klinisch das Bild einer Deafferenzierung boten, (schwere Polyneuritiden, e. g.), zum Fehlen jeder Hemmungsphase (Hufschmidt und Nadjmi, 1960). Besonders aufschlußreich waren weitere Arbeiten zur Differenzierung des propriozeptiven Einflusses; durch umschriebene Novocain-Infiltration der Sehnenenden des Testmuskels werden die Spannungs-Rezeptoren ausgeschaltet und so fällt auch die Hemmung fort. (Hufschmidt und Spuler, 1961).

Demnach muß diese Hemmung auf die Golgi-Organe bezogen werden. Von diesen werden die Impulse über die Ib-Afferenten offenbar zu den zentralen Schalt- und Interneuronen weitergeleitet, die untereinander eng zusammenhängen und nach Hufschmidt als Delta-System bezeichnet werden.

Untersuchungen an Patienten mit einer pathologisch veränderten Tonuslage, z. B. beim Parkinsonismus (Hufschmidt, 1959), führen zu der Annahme, daß diese Delta-Interneuronen von höheren Zentren aus in ihrer Erregbarkeit eingestellt werden können (s. a. Eccles und Lundberg, 1959).

Sie bilden offenbar ein eng verflochtenes Funktions-System auf spinaler Ebene und es war aus früheren Arbeiten bekannt, daß sich die Interneuronen dieses Leitungsbogens nicht auf die zugehörigen Muskeln beschränken (Cooper and Creed, 1927; Hund and Kuno, 1959).

Vielmehr kommt es von hier aus zu komplexen Regelungsvorgängen, die sich auf die Motorik benachbarter Muskeln und Muskelgruppen auswirken (Granit,

1952). Dies zeigt sich besonders unter den Synergisten der Extremitäten. Dabei treten charakteristische reproduzierbare Phasenverschiebungen auf. Dagegen kommt es in den Antagonisten zu einer gleichzeitigen Bahnung und es resultiert eine oft deutliche Reziprozität, die als koordinative Verrechnung auf spinaler Ebene abgefaßt werden muß.

Über eine Beeinflussung kontralateral gelegener Muskelgruppen wurden hingegen bisher nur sehr wenige Angaben gemacht (Philippson, 1905; Creed and cooper, 1927). Diese Frage schien völlig offen und es war zu erwarten, daß gerade hier weitere Aufschlüsse über die Ausbreitung der muskulären Propriozeptivität zu gewinnen sind. Eine solche Beeinflussung war ganz besonders für die rumpfnahen Muskeln zu fordern.

III. Methodik

Die Folge der Aktionspotentiale im Bereich der Schulter- und Rumpfmuskulatur wurde mit Hilfe von blanken Nadel-Elektroden (bipolare Anordnung) über einen 2-Strahl-Kathodenstrahl-Oszillographen registriert und mit Hilfe eines Photokymographions aufgenommen. Die Reizung erfolgte über ein Thyatron-Gerät und der Reiz wurde mit dem Kipp des Oscillographen synchronisiert. Die betreffenden Muskeln wurden bipolar mit kleinflächigen Silber-Elektroden gereizt und der Reiz soweit verstärkt, daß eine direkte Muskelzuckung resultierte, ohne Schmerz-Sensationen zu verursachen.

Die Versuchspersonen waren nicht medikamentös behandelt und wurden im Stehen untersucht, so daß die Rückenmuskulatur weitgehend aktiv innerviert war. Bei zu schwacher tonischer Innervation ließ sich die Aktivität durch Verlagerung des Schwerpunktes erreichen.

Die Versuchspersonen waren freibeweglich und die in die Muskeln versenkten Nadeln wurden sogleich versetzt, wenn sich Schmerz-Sensationen einstellten. Wir können daher von weitgehend normalen Ausgangsbedingungen sprechen.

IV. Eigene Ergebnisse

1. Willkürstoß des Trapezius

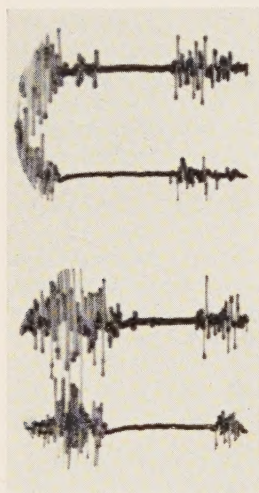
Wir untersuchten zunächst den Trapezius und zwar wegen seiner Lage und seiner engen anatomisch-funktionellen Beziehungen zum gleichen Muskel der Gegenseite. Durch das Übergreifen auf den beweglichen Schultergürtel läßt sich besonders in seinem oberen Abschnitt (pars descendens) eine isolierte Willkür-Zuckung leicht durchführen. Die absteigenden Fasern bewirken zusammen mit tiefer gelegenen Synergisten eine Hebung der Schulter, während die kurze, ruckartige Aktivierung ein Achselzucken ergibt.

Der Ursprung des Trapezius ist nur oben am Schädel und unterhalb der Halswirbel knöchern fest fixiert, während im Cervical-Bereich beide Trapezii durch eine Sehnenplatte miteinander verbunden sind, die nur durch eine senkrecht dazu gestellte und mäßig verschiebliche Verbindung über das Septum nuchae an die Dornfortsätze der Halswirbelsäule geheftet ist.

Wegen dieser seitlichen Verschieblichkeit im gemeinsamen Ursprung beider Trapezii wäre auch für die einseitige Willkür-Innervation eine Mit-Aktivität des Muskels der Gegenseite zu erwarten, nämlich im Sinne einer Fixation.

Die myographische Ableitung von beiden Muskeln ließ in der Tat erkennen, daß bei der nur einseitigen Willkür-Aktivität des Trapezius regelmäßig eine

programmatische Mit-Innervation des kontralateralen Trapezius eintritt, obwohl eine Muskel-Zuckung dabei nicht sichtbar wird. (Abb. 1).



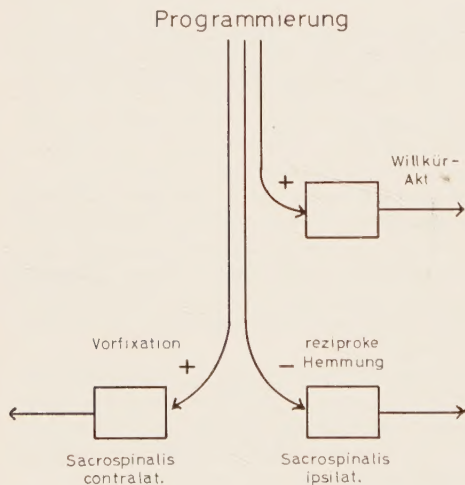
Die synchrone Aufzeichnung der myographischen Erregungsabläufe zeigt, daß auch im Muskel der Gegenseite regelmäßig die „silent period“ auftritt, und zwar nach einer geringeren initialen Aktivierung.

Die zahlreichen Ableitungen und Versuche ließen immer wieder erkennen, daß auch der „rebound“ früher erfolgte, als im Testmuskel.

Freilich ließ sich bei der Willkür-Aktivität keine strenge Normierung der Intensität der Muskelzuckung im Testmuskel erreichen, und so wechselte auch die Mit-Innervation im kontralateralen Trapezius in Ausmaß und Stärke. Diese

Abb. 1

Willkür-Stoß im Trapezius (= untere Ableitung), obere Ableitung: kontralateraler Trapezius. Die silent period beginnt im kontralateralen Trapezius später und endet früher.



Unterschiede sind aber auch von der Ableitetechnik abhängig und ergeben sich oft aus einer nur geringfügigen Änderung der Position der ableitenden Nadel-Elektroden.

Programmierung der Willkürimpulse

Deloideuskontraktion als unmittelbarer Willkürakt. Im Sacrospinalis ipsilateral tritt gleichzeitig, bzw. leicht vorlaufend eine reziproke Hemmung auf.

Im contralateralen Sacrospinalis kommt es zu einer der Deloideusaktivität parallel laufenden Aktivitätssteigerung, nur daß diese stets vorher einsetzt. Es handelt sich somit um eine vom Zentrum programmierte Vorfixation.

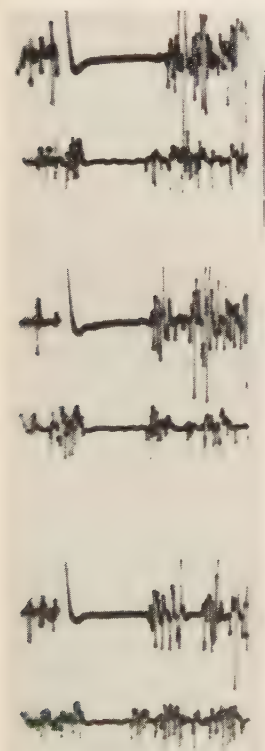
Dagegen ließ sich eine Beziehung zwischen Größe der initialen Mit-Innervation und der Dauer der „silent period“ auf der kontralateralen Seite nicht erkennen.

Es handelt sich dabei offenbar um ein zentral gesteuertes Innervations-Bild, das einer koordinativen Programmierung dient.

2. Spannungsreflex des Trapezius

Nunmehr wurde der Trapezius elektrisch direkt gereizt, und zwar mit Hilfe von aufgeklebten Hautelektroden. Auch hier wurde wieder von beiden Muskeln parallel das Elektromyogramm abgeleitet. Der Abstand der zum Reiz verwendeten Haut-Elektroden wurde dabei immer groß genug gehalten, um eine gleichzeitige Reizung des kontralateralen Muskels auszuschließen und die Reiz-Artefakte möglichst gering zu halten. Es kommt zu einer Einzelzuckung des gereizten Muskels.

Ein monosynaptischer Reflex tritt nach der direkten Muskelreizung niemals auf, so daß sicher keine Reizung afferenter Nerven vorliegt (siehe auch Hufschmidt, 1961).



Der Kurvenverlauf im Testmuskel entspricht dabei völlig den Befunden, wie sie auch für die indirekte Muskelzuckung gefunden wurden. Auf den direkten elektrischen Muskelreiz kommt es zu einer Einzelzuckung mit einem großen Reiz-artefakt, so daß sich die ersten 10—20 msec danach nicht sicher beurteilen lassen. Es folgt jedoch immer die autogene Hemmung und ihre Dauer entspricht annähernd derjenigen, die nach kurzer stoßartiger Willkür-Kontraktion auftritt (Hufschmidt, 1961). (Siehe Abb. 2)

Ganz regelmäßig schließt sich ein deutlicher „rebound“ an, dem häufig eine zweite Hemmung folgt. Aber auch im kontralateralen Trapezius kommt es zu einer gleichgerichteten Hemmung, die sich mit einer geringen Verspätung gegenüber dem Testmuskel immer nachweisen läßt. Diese Verzögerung ist nicht größer, als etwa 10—20 msec. Die Hemmungsphase ist selbst regelmäßig kürzer als im gereizten Testmuskel, ganz so, wie bei der einseitigen Willkür-Aktivität. Der „rebound“ setzt früher ein. (Abb. 2) Die autogene Hemmung ist also immer kürzer auf der Gegen-

Abb. 2

Autogene Hemmung durch direkte Reizung des Trapezius (= obere Ableitung), kontralateraler Trapezius = untere Ableitung. Auch hier setzt sich silent period im kontralateralen Muskel später ein und endet früher.

seite, wenngleich sich auch keine feste Beziehung der Hemmungsdauer ipsi- und kontralateral erkennen läßt. Auf der kontralateralen Seite tritt eine initiale Spannungszunahme sicherlich nicht auf, so daß die kontralaterale Hemmung

durch die Golgi-Organen der ipsilateralen Seite verursacht sein muß. Die gleiche kontralaterale Hemmung findet man auch bei den Masseteren (Hufschmidt und Spuler, 1961).

Man muß demnach folgern, daß die Ausbreitung der Golgi-Afferenzen weiter geht, als das bisher nachgewiesen wurde. Ähnlich den Regelungen, die für die Extremitätenmuskeln, und zwar für die Synergisten (im Sinne einer parallelen Hemmung) und für die Antagonisten (im Sinne einer reziproken Bahnung) beschrieben wurden, muß man also eine Weiterleitung auf die kontralateralen Motoneurone annehmen.

Das beweist einen funktionellen Zusammenhang der Interneurone des Delta-Systems beider Seiten im segmentalen Bereiche.

3. Spannungsreflexe an anderen Muskeln des Schultergürtels

Da sich jedoch gerade wegen der engen anatomischen und funktionellen Beziehungen der beiden Trapezien zueinander eine rein mechanische Spannungsübertragung über die gemeinsame mittlere Ursprungs-Sehne nicht ohne weiteres ausschließen läßt, wurde noch eine weitere Reihe von Versuchen unter Hinzuziehung des Deltoides angestellt. Und zwar wurde bei direkter Reizung des Deltoides der einen Seite der Reihe nach abgeleitet: vom gleichseitigen, vom kontralateralen Trapezium und schließlich auch vom Deltoides der Gegenseite. (Abb. 3 und Abb. 4)



Abb. 3

Abb. 4

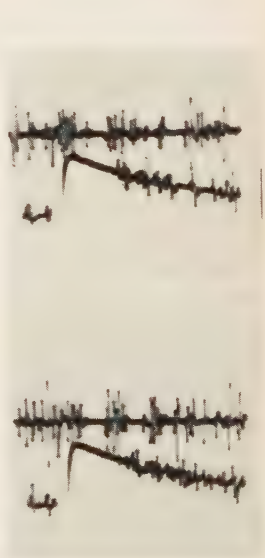


Abb. 3 Autogene Hemmung durch Reizung des Deltoides (= untere Ableitung). Oben: entsprechende Hemmung im kontralateralen Trapezium, die ebenfalls deutlich verkürzt ist.

Abb. 4 Durch direkten Reiz ausgelöste autogene Hemmung im Deltoides. Die silent period im ipsilateralen Trapezium (untere Ableitung) ist deutlich mehr ausgeprägt, tritt früher ein und ist länger, als im kontralateralen Trapezium (obere Ableitung).

Dabei trat ein prinzipiell völlig gleicher Erregungsablauf ein, der jedoch eine immer wieder sehr deutlich reproduzierbare Abstufung zeigte; je weiter der abgeleitete Muskel von dem gereizten Testmuskel entfernt war, desto geringer war seine Hemmung ausgeprägt.

Während bei der Reizung eines Deltoides der ipsilaterale Trapezius eine nur geringe Verkürzung der silent period zeigte, und eine nur mäßige Abschwächung des „rebound“ aufwies, war beim kontralateralen Trapezius die autogene Hemmung wesentlich reduziert und beim kontralateralen Deltoides nur noch schwach nachweisbar. (Abb. 5) Danach nimmt die Beeinflussung stufenförmig an Intensität ab, je weiter die beiden Muskeln voneinander oder von der Mittel-Linie entfernt sind.



Abb. 5

Reizung des Deltoides (unten) mit ausgeprägter autogener Hemmung. Im Gegensatz zu Abb. 3 und 4 zeigt der kontralaterale Deltoides nur eine außerordentlich kurze Hemmung, die später einsetzt, früher aufhört und nur etwa 25 msec dauert.

Diese Erscheinung war auch nachweisbar für den Trapezius, wenn gleichzeitig kontralateral der andere Trapezius und der Deltoides abgeleitet wurde.

Mit völliger Sicherheit ist aber bei den beiden Deltoidei eine mechanische Spannungs-Übertragung auszuschließen, wie sie beim Trapezius aus der sehnigen Verbindung immerhin resultieren könnte. Es muß sich demnach um eine koordinative Regelung auf spinaler Ebene handeln, die auch auf die Gegenseite hinüber wirksam wird. Und als Mittler müssen die Interneuronen des Delta-systems angenommen werden.

Bei diesen Versuchen an der Muskulatur des Schultergürtels war diese Beeinflussung immer gleich gerichtet im Sinne einer gleichgerichteten Hemmung und entsprach damit ganz dem Bilde bei der isolierten Willkür-Innervation.

4. Zur intersegmentalen Koordination

Diese Ergebnisse machten beim Vergleich mit der segmentalen Versorgung der abgeleiteten Muskeln bereits deutlich, daß die kontralaterale Beeinflussung sich nicht auf die segmentale Gleichheit der zugeordneten Motoneuronen beschränkt. Vielmehr war beim direkten Muskelreiz die Wirkung auf den kontralateralen Trapezius auch bei Reizung des Deltoides stärker ausgeprägt, als auf den Deltoides der anderen Seite, obwohl dieser ja aus den gleichen Segmenten versorgt wird.

Es war daher naheliegend, auch solche Muskeln in die Untersuchung einzubeziehen, die weiter voneinander entfernt sind und eine weniger starke Überschneidung in ihrer segmentalen Versorgung haben.

Wir untersuchten daher den Sacrospinalis, der in der Lendengegend sehr gut abzuleiten ist und seiner Funktion nach gerade bei Bewegungen im Schulter-

gürtelbereich stabilisierend wirkt. Beide Sacrospinales sind bei der Aufrichtung des Rumpfes synergistisch beteiligt, während sie bei seitwärts gerichteter Bewegung Antagonisten sind. Da beide Muskeln anatomisch streng voneinander getrennt sind, kann man bei fehlender Haltungsänderung eine direkte mechanische Wechselwirkung zwischen beiden ausschließen.

Der Sacrospinalis gehört zur autochthonen Rückenmuskulatur und wird von den hinteren Ästen der Spinalnerven versorgt. Da er vorwiegend statische Funktionen ausübt, mußte dabei mit abweichenden Bildern gerechnet werden.

Es wurde nun wiederum der Einfluß des Trapezius sowie des Deltoides auf die gleichzeitige Aktivität beider Sacrospinales im Lenden-Bereich untersucht.

a) Die Willkürkontraktion der Schultermuskeln und die Mit-Innervation der Rumpfmuskeln

Bei einer kurzen stoßartigen Willkür-Innervation des Trapezius werden beide Sacrospinales mit beeinflusst, und zwar tritt kontralateral ebenfalls eine deut-



Abb. 6a

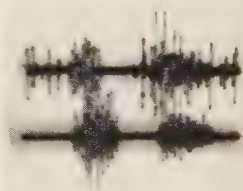


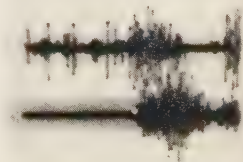
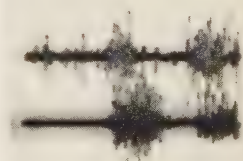
Abb. 6b

Abb. 6a und 6b

Willkür-Innervation des Deltoides (untere Ableitung). Die Mit-Innervation des kontralateralen Sacrospinalis erfolgt deutlich früher. Es handelt sich also um eine zentral eingestellte Vorfixation.

liche programmatische Mit-Innervation im Sacrospinalis auf, die regelmäßig früher einsetzt, als im Test-Muskel selbst. Man muß das als eine zentral gesteuerte Vor-Fixation auffassen, die der koordinativen Stabilisierung dient. Dies Phänomen war beim stehenden Menschen deutlicher ausgeprägt, als im Sitzen. (Abb. 6a und 6b)

An den initialen Innervations-Stoß im Sinne der Vor-Fixation des kontralateralen Sacrospinalis schloß sich auch hier wieder regelmäßig eine silent period an, die früher, als im Testmuskel, einsetzte, fast immer von kürzerer Dauer war und früher vom rebound abgeschlossen wurde.





Zu Beginn der Willkürbewegung im Trapezius oder Deltoides zeigte sich im Bereiche des ipsilateralen Sacrospinalis ein völliges Sistieren der Innervation gleich zu Beginn der aktiven Kontraktion. Nach dieser Innervations-Stille tritt ein kräftiger rebound auf. Beim Vergleich der beiden Sacrospinales sehen wir daher eine starke Phasenverschiebung, die annähernd reziprok verläuft. (Abb. 7)

Der rebound im gleichseitigen Sacrospinalis fällt auf den Beginn oder den ersten Abschnitt der autogenen Hemmung im Testmuskel und es schließt sich sehr häufig eine zweite kürzere Hemmung an.

Abb. 7

Willkür-Innervation im Deltoides und gleichzeitige Ableitung vom ipsilateralen (oben) und kontralateralen (unten) Sacrospinalis. Während der ipsilaterale Sacrospinalis seine Hemmungsphase zeigt, tritt eine deutliche Bahnung im kontralateralen Sacrospinalis auf: reziproke Innervation.

b) Spannungsreflexe der Schultermuskulatur und ihr Einfluß auf die Rückenmuskulatur

Da es sich bei den geschilderten Experimenten um eine programmatische Koordinations-Steuerung handelt, wurde nunmehr ein direkter elektrischer Reiz auf den Testmuskel gesetzt und wiederum gleichzeitig aus den Sacrospinales das Elektromyogramm abgeleitet. Die Technik war die gleiche, wie in den Versuchen am Schultergürtel.

Auch hier war stets eine Beeinflussung des Myogramms beider Sacrospinales zu sehen. Die Dauer der Veränderungen war nicht sehr verschieden von den Befunden bei der Willkür-Aktivität. Doch waren sie in ihrer Intensität immerhin schwächer und mitunter undeutlich, vor allem traten sie mit einer gewissen Latenz ein, welche durch den intraspinalen Leitungsbogen bedingt ist. Man muß auch bedenken, daß der elektrische Reiz niemals von maximaler Stärke gewählt

wurde und daß der gereizte Trapezius bei der Willkür-Aktion noch durch einige Synergisten (Scaleni, e. g.) unterstützt wird, deren Afferenzen in gleichem Sinne wirken.

Bei direktem Muskelreiz trat nun im kontralateralen Sacrospinalis eine Bahnung, d. h. eine Aktivitäts-Steigerung auf, die mit einer Latenz von etwa 30—60 msec auf den Testreiz folgte. An sie schloß sich die „silent period“ an, die bis in den Rückschlag des Testmuskels hineinreichte. (Abb. 8)

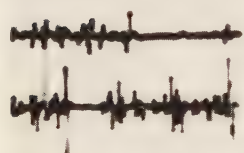


Abb. 8

Direkter Reiz auf den Trapezius. Ableitung vom kontralateralen Trapezius, welcher die zuvor geschilderte autogene Hemmung zeigt (unten). Zur gleichen Zeit tritt im kontralateralen Sacrospinalis eine deutliche Bahnung auf, (oben). Latenz 30 msec.

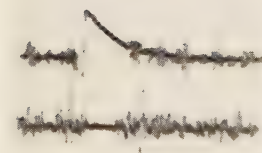
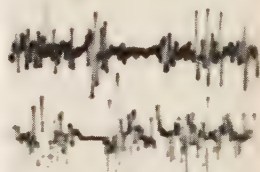


Abb. 9 a

Direkte Reizung des Deltoides bei Ableitung von Deltoides (oben) und gleichseitigem Sacrospinalis (unten).

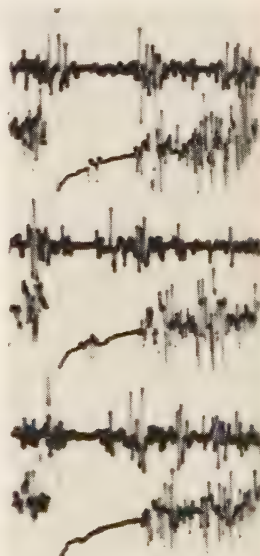


Abb. 9 b

Direkte Reizung des Trapezius mit nachfolgender gut ausgeprägter Hemmung (unten).

In der oberen Ableitung des ipsilateralen Sacrospinalis tritt nach 25 msec eine deutliche Hemmung der Innervation auf.

Dagegen war im ipsilateralen Sacrospinalis eine anfängliche Hemmung zu sehen, die mit etwas kürzerer Latenz als die Bahnung auf der Gegenseite einsetzte. Wie bei den Schultermuskeln wurde auch diese Hemmung durch einen rebound begrenzt. (Abb. 9)

Die Hemmung war gelegentlich kürzer, als im Testmuskel. Das entspricht also einer starken Phasenverschiebung, die besonders bei gleichzeitiger Ableitung von beiden Sacrospinalis ein annähernd reziprokes Bild ergab. Der Innervationsverlauf ist stets reproduzierbar und im Stehen, bei leicht tonisierter Körperhaltung, besser zu erhalten. (Abb. 10 und 11)

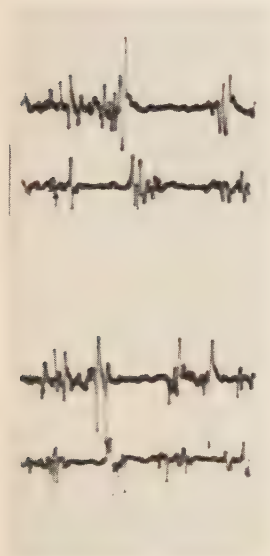


Abb. 10



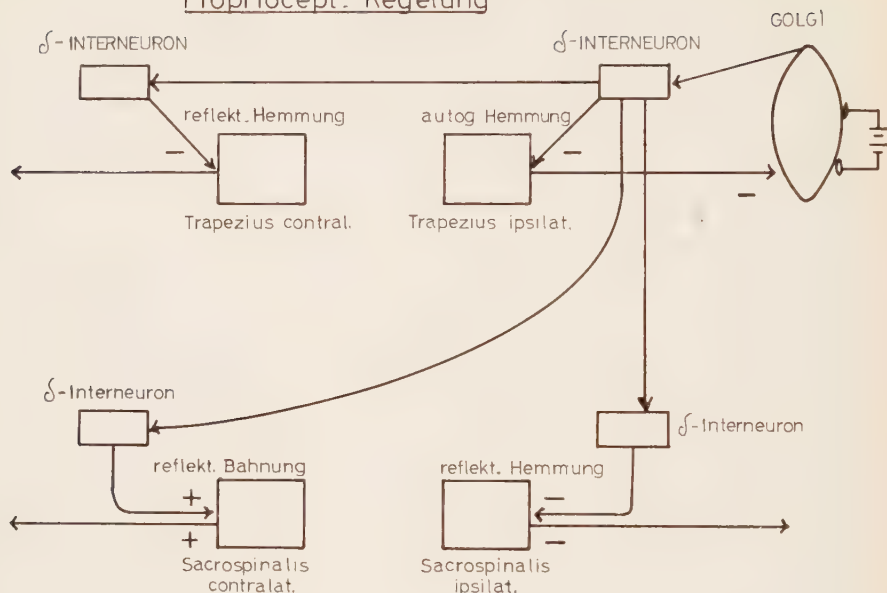
Abb. 11

Abb. 10 Direkte Reizung des Trapezius und gleichzeitige Ableitung vom kontralateralen Sacrospinalis (oben) und vom ipsilateralen Sacrospinalis (unten). Während der ipsilaterale Sacrospinalis nach kurzer Zeit gehemmt wird, tritt die Bahnung im kontralateralen Sacrospinalis mit einer gewissen Verzögerung auf. Das Bild entspricht annähernd, wenn auch leicht phasenverschoben, einer reziproken Innervation, wie wir sie bei der willkürlichen Kontraktion des Trapezius gesehen haben.

Abb. 11 Direkte Reizung des Deltoides (oben), bei Ableitung von Deltoides (oben) und kontralateralem Sacrospinalis (unten).

Es muß danach als sicher angenommen werden, daß es zu einer Ausbreitung propriozeptiver Einflüsse aus dem Trapezius (oder Deltoides) kommt, die über die Golgi-Afferenzen des Testmuskels auch in die Segmente weiter entfernter Muskelgruppen weitergeleitet werden, über Interneuronen, die auf spinaler Ebene eine weitreichende Koordination bewirken können.

Propriocept. Regelung



Proprioceptive Regelung der Stammuskulatur

Durch direkte Reizung des Trapezius wird über die Deltainterneurone dieses Muskels eine autogene Hemmung ausgelöst.

Die Impulse aus den Golgi-Rezeptoren des Trapezius laufen aber auch über die Deltainterneurone des contralateralen Trapezius, sowie des ipsi- und contralateralen Sacrospinalis. Von dort aus kommt es zu Hemmungs- und Bahnungsvorgängen, welche im Prinzip mit dem coordinativen Bild auf eine Willkürkontraktion übereinstimmen. Auf diese Weise unterstützt die proprioceptive Regelung die zentrale Programmierung.

V. Diskussion

Die Propriozeptivität der Muskeln bewirkt über eine zentrale Verrechnung Regelungen, die neben die steuernden zentralen Impulse treten. Dazu tragen vor allem die Muskelspindeln und die Golgi-Organen bei, die gegenüber anderen Afferenzen (Haut, Vestibularis, e.g.) eine übergeordnete Rolle spielen. Ihre Impulse gehen über spinale Schaltneurone, die in ihrer Erregbarkeit zentral eingestellt werden können.

Für die Afferenzen aus den Golgi-Organen wurde hier beim gesunden Menschen unter natürlichen Versuchsbedingungen nachgewiesen, daß sie auch über den eigenen Muskel hinaus weit verbreitete Wirkungen auf die Rumpf-Muskulatur der anderen Seite und auf Muskeln entfernterer Segmente entfalten können.

Die durch direkten Muskelreiz hervorgerufenen Veränderungen werden auf die Spannungsrezeptoren bezogen, da ja, wie zuvor erörtert, eine Reizung afferenter Nerven ausgeschlossen werden konnte. Eine Schmerzreaktion spielt sicherlich keine Rolle, denn die Reaktion erfolgt nur bei einer deutlichen Muskelkontraktion. Auch ließ sich eine Beteiligung des Vestibularis ausschließen: eine passive Abduktion des Armes, welche eine Gleichgewichts-Verlagerung in gleichem Sinne bedeutet, wie eine Deltoides-Kontraktion, war ohne Effekt auf die Rückenmuskeln.

Solche Beeinflussung ließ sich zuvor an den Extremitäten-Muskeln zwischen benachbarten Muskelgruppen nachweisen, wo ebenfalls hemmende und bahnende Wirkungen auf Synergisten und Antagonisten demonstriert wurden.

Es wird angenommen, daß diese Verbreitung über spezielle Schalt-Neurone läuft, die einem ausgedehnten und in enger Verbindung stehenden Zellverband angehören. Dieser wurde von Hufschmidt als Delta-System bezeichnet (Hufschmidt, 1961).

Diese koordinativen Regelungen scheinen einer strengen Eigengesetzlichkeit zu folgen, welche sich eng an die programmatischen Innervations-Muster supraspinaler Zentren anlehnen. Sie können offenbar neben diesen, aber auch stellvertretend für sie, in die Motorik eingreifen.

Programmierung und Regelung ergänzen sich wechselseitig und erhöhen so die Sicherheit der an der Stamm-Muskulatur nachgewiesenen Koordination. Man muß daher annehmen, daß eine Störung dieses funktionellen Gefüges im Bereiche der Stamm-Muskulatur zu einer Rumpf-Ataxie führen kann. Wir betrachten diese Untersuchung als eine Grundlage zum Verständnis für derartige pathologische Prozesse. (Vgl. auch Gerlach und Hufschmidt, 1961.)

Zusammenfassung

1. Die Untersuchungen sollten klären, wieweit die Propriozeptivität im Bereiche der Stamm-Muskulatur über die autogene Hemmung des Testmuskels hinaus auch auf andere, kontralaterale und segmental entferntere Muskelgruppen einwirken kann.
2. Im Bereiche der Muskulatur des Schultergürtels zeigte sich bei den hier untersuchten Muskeln eine gleichsinnige Hemmung der kontralateralen Seite, die etwa dem programmatischen Ablauf bei der Willkür-Innervation entspricht.
3. Bei der Untersuchung der Rückenmuskulatur war diese Wirkung ebenfalls nachweisbar und es bot sich hier ein weitgehend reziprokes Bild, das, wie bei der Willkür-Programmierung, gleichgerichtet ist.
4. Zeitliche Verschiebungen bestehen beim Vergleich der Willkür-Aktion mit der direkten Reizung. Sie erklären sich durch die Latenz des Leitungsbogens.
5. Die spinalen Regelungen bewirken eine intersegmentale Koordination, die neben der programmatischen Steuerung aus supraspinalen Zentren steht und ersatzweise für diese einzuspringen vermag. Das System dient offenbar einer erhöhten Sicherheit der geordneten Bewegung und Statik im Sinne einer Redundanz.
6. Störungen und Ausfälle in diesem Leitungsbogen müssen klinisch zum Bilde einer Rumpf-Ataxie führen.

Herrn Privatdozent Dr. Hufschmidt möchte ich zum Schluß der Arbeit für die Überlassung des Themas, die vielen wertvollen Anregungen und die Übernahme des Referates meinen aufrichtigen Dank sagen.

Herrn Professor Dr. Schaltenbrand danke ich besonders für die Übernahme des Korreferates.

Literatur

Cooper, S., and Creed, R. S., Reflex effects of active muscular contraction, *J. Physiol.*, 62, 273—79, 1927.

Eccles, R. M., and Lundberg, A., Supraspinal control of interneurons mediating spinal reflexes, *J. Physiol.*, (Lond), 147, 565—584, 1959.

Gerlach, J., und Hufschmidt, H. J., Myographische Analyse nach einseitiger Extirpation des Lobus anterior cerebelli, *Dt. Ztschr. f. Nervenheilkd.*, 182, 303—312, 1961.

Granit, R., Reflex self-regulation of the muscle contraction and autogenetic inhibition. *J. Neurophysiol.*, 13, 351—372, 1950.

—, Reflexes to stretch and contraction of antagonists around ankle joint. *J. Neurophysiol.*, 15, 269—279, 1952.

—, *Receptors and sensory perception*, Yale Univ. Press, 1955.

Hufschmidt, H. J., Die autogene Hemmung (R. Granit) als Bestandteil der Silent period (P. Hoffmann). *Ztschr. f. Biol.*, 106, 319—324, 1954.

—, Über die reflektorische Grundlage des Parkinsontremors, *Dt. Z. Nerv. Hlkd.*, 179, 219—308, 1959.

—, Über den Spannungsreflex beim Menschen, *Ztschr. f. Biol.* 75—80, 1959.

—, Wird die Silent period nach direkter Muskelreizung durch die Golgi-Organen ausgelöst? *Pflügers Archiv*, 271, 35—39, 1960.

—, Bausteine motorischer Regelung. *Arch. Suisses de Neur.*, 87, 259—280, 1961.

—, Mono- und polysynaptische Reflexe bei Nervenreizung am Menschen. *Pflügers Archiv*, 272, 297—306, 1961.

Hunt, C. C., and Kuno, M., Background discharge and evoked responses of spinal interneurons. *J. Physiol.*, 147, 364—384, 1959.

Matthews, B. H. C., Nerve endings in mammalian muscle. *J. Physiol.*, 78, 1—33, 1933.

Philippson, *Trav. Lab. Inst. Physiol.*, Brux., 7, II, 1.

Sherrington, C. S., The muscular sense. In Schäfer's textbook of Physiol., Pentland, London, Edinburgh, 1900.

Struppler, A., Kessel, F. K., Weidenbach, W., Elektrophysiologische Studien an deafferentierten Muskeln. *Med. Monatsschr.*, 1, 25—26, 1960.

Lebenslauf

Am 14. 7. 1926 wurde ich geboren als Sohn des Chemikers Dr. August Herterich und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Ockel.

Ich lebte bis zu meinem 7. Lebensjahr in meiner Geburtsstadt Bochum, ging dort in die Volksschule und siedelte dann 1934 nach Wittenberg über, wo ich seit 1936 in das humanistische Melanchthon-Gymnasium ging. Im Jahr 1944 wurde ich aufgrund des nationalsozialistischen Ausleseerlasses von der Schule verwiesen und vor einem Kriegsgericht zu einer mehrjährigen Gefängnisstrafe verurteilt. Ich wurde dann im Frühjahr 1945 als Soldat eingezogen, geriet alsbald in russische Kriegsgefangenschaft und kehrte 1947 wieder nach Hause zurück.

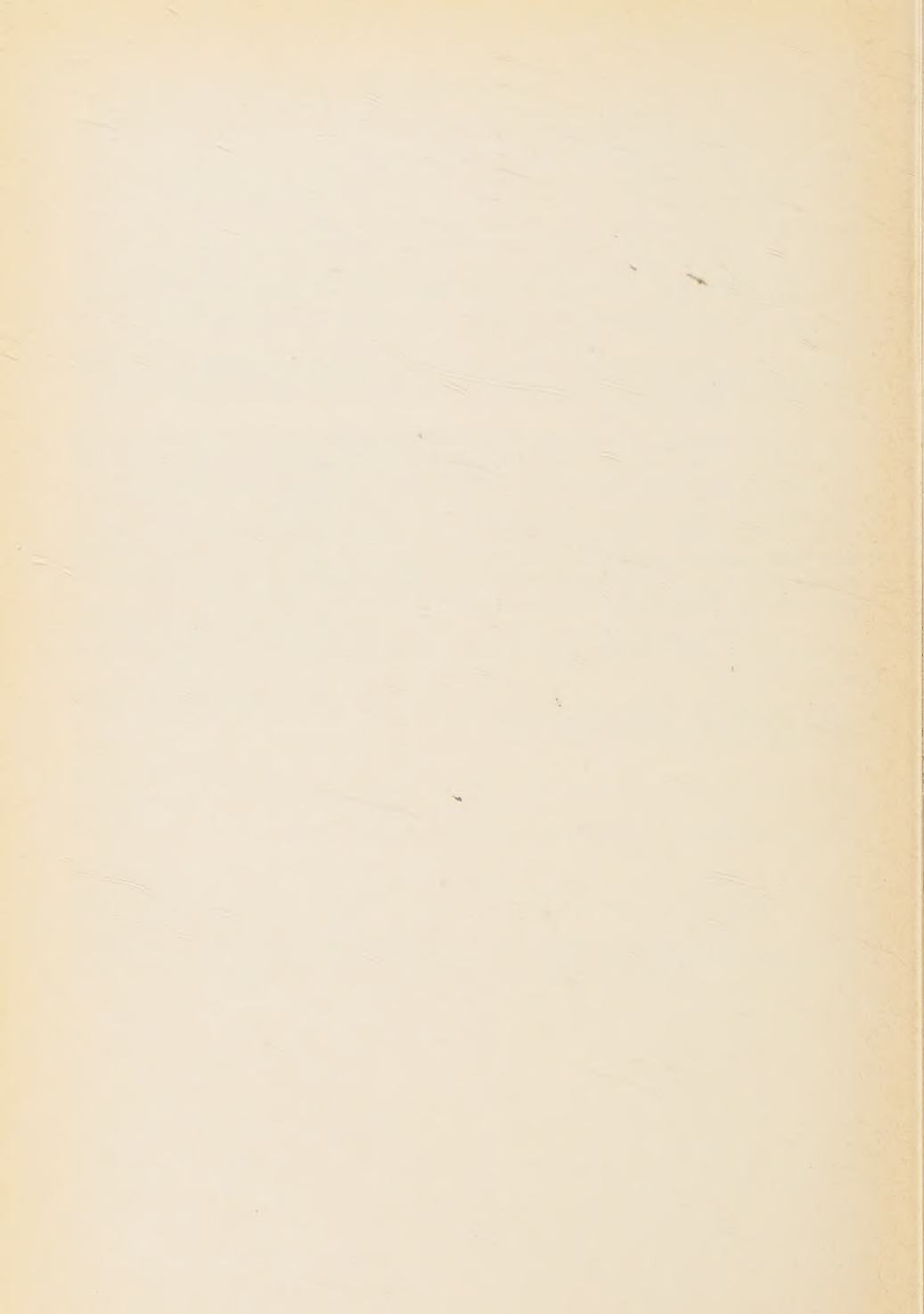
Durch die Landesregierung erhielt ich nunmehr auf dem Wege der Wiedergutmachung mein Abitur und fing 1948 an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg mein Studium an.

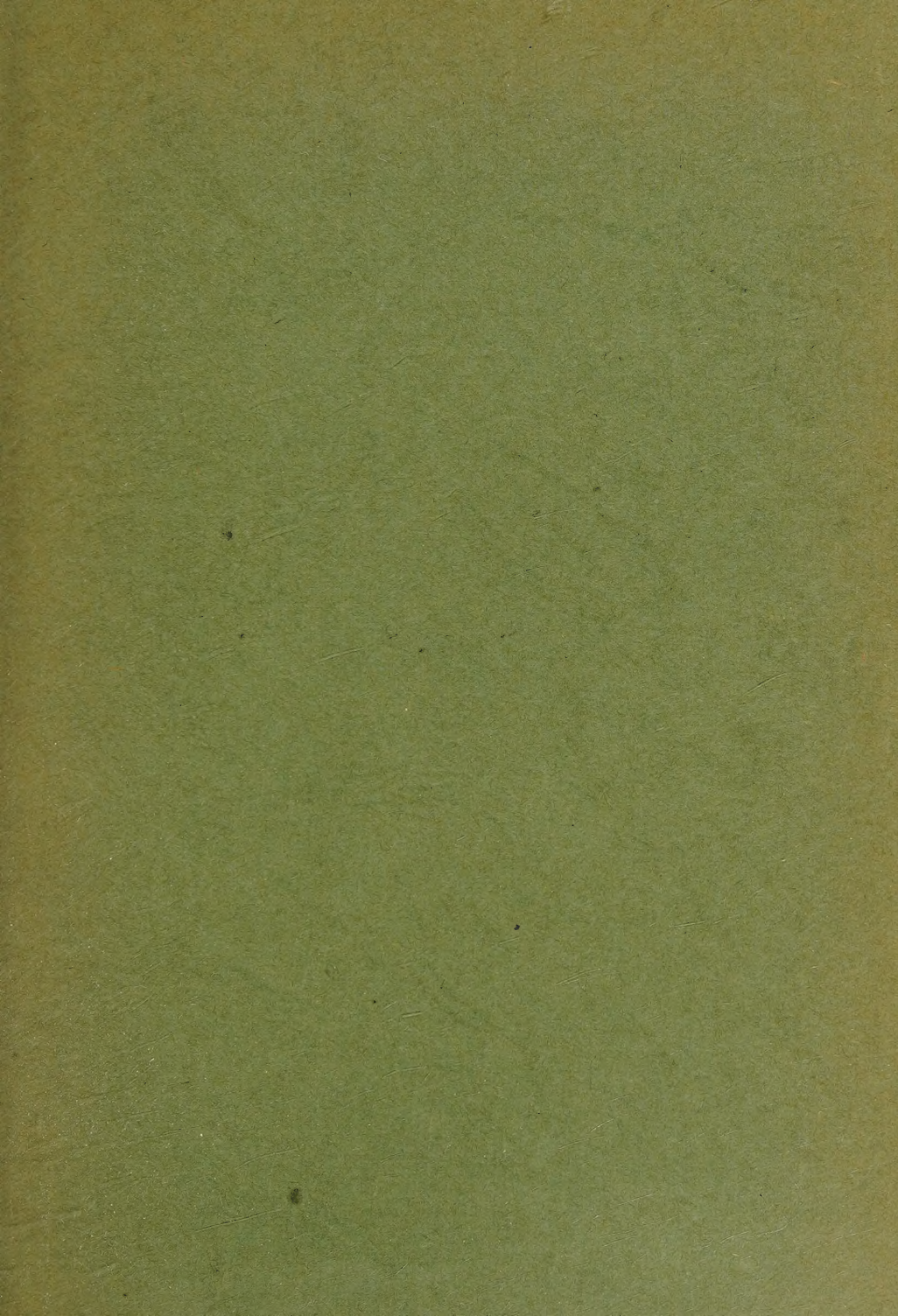
Wegen Krankheit und wirtschaftlicher Gründe mußte ich mein Studium dann unterbrechen und studierte seit 1952 in Würzburg weiter. Im Frühjahr 1954 bestand ich hier mein Physikum und 1957 mein medizinisches Staatsexamen.

Seither arbeitete ich im Winter 1957/58 im Kreiskrankenhaus in Riesa, im Sommer 1958 in der Lungenheilstätte Bad Neustadt/Saale, war dann im Winter 1958/59 in der neurologischen Universitätsklinik Würzburg, um dann bis zum Herbst 1960 Praxisvertretungen zu machen. Schließlich war ich ein Jahr in der chirurgischen Abteilung des Julius-Spitals in Würzburg tätig.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig verfaßt und außer der angegebenen Literatur keine weiteren Hilfsquellen benutzt habe.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich ein mir vorher überlassenes Thema ordnungsgemäß zurückgegeben habe.





Druck: Buchdruckerei und Verlag Georg Graßer, Würzburg